

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie



Hodnocení provádění stehových svarů pro konstrukční  
oceli

Evaluation of Tack Welding Execution for Structural  
Steels

Student:

Radim Murárik

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Sondel Ph.D.

Ostrava 2015

## Zadání bakalářské práce

Student: **Radim Murárik**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Hodnocení provádění stehových svarů pro konstrukční oceli**  
**Evaluation of Fack Welding Execution for Structural Steels**

### Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii svařování konstrukčních uhlíkových ocelí
2. Navrhněte provedení stehových svarů pro vybrané technologie
3. Navrhněte postup ověření vlastností stehových svarů
4. Ověřte vlastnosti vybraného zkušebního svarového spoje

### Seznam doporučené odborné literatury:

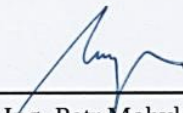
KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. Vyd. 1. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o., VŠB-Technická Univerzita, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.  
KOUKAL, Jaroslav; ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2005. 136 s. ISBN 80-248-0870-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Sondel, Ph.D.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18. 5. 2015



.....  
Podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. 5. 2015



Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Radim Murárik

Adresa trvalého pobytu autora: Bítov 52, 743 01

## **Anotace**

MURÁRIK R. *Hodnocení provádění stehových svarů pro konstrukční oceli*: bakalářská práce Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, Vedoucí práce: Sondel M.

Bakalářská práce se zabývá studií hodnocení provádění stehových svarů pro konstrukční oceli. V úvodu je popsána charakteristika svařování metodou 135 (MAG) a přídavné materiály. Dále je popsáno provedení stehových svarů a svařitelnost nelegovaných uhlíkových ocelí. V experimentální části se práce zabývá ověřením vlastností vybraného zkušebního svarového spoje. Hodnotí se makrogeometrie svaru, tvrdost dle Vickerse a vizuální zkouška.

## **Annotation**

MURÁRIK R. *Evaluation of Tack Welding Execution for Structural Steels*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanics Technology, 2015, Thesis Head: Sondel M.

Bachelor thesis deals with studies evaluating the implementation of tack welds for structural steels. The introduction describes the characteristics of welding using the 135 (MAG) welding process and filler materials. Hereinafter, embodiments of tack weld and weldability of unalloyed carbon steel. In the experimental part of the work deals with the verification of properties of selected test weld specimens. It assesses the macrostructure evaluation of the weld, Vickers hardness and visual examination.

## Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	8
1 Úvod .....	9
2 Svařitelnost .....	10
2.1 Svařitelnost nelegovaných ocelí.....	10
2.2 Uhlíkový ekvivalent .....	12
2.3 Technologie svařování .....	14
2.3.1 Metoda 135 (MAG).....	14
2.3.2 Přídavné materiály.....	16
2.3.3 Polohy svařování .....	18
3 Provedení stehových svarů .....	19
3.1 Návrh vzorků pro experimentální práce.....	21
3.2 Podmínky svařování stehových svarů .....	25
4 Návrh postupu ověření vlastností .....	27
4.1 Vizuální zkouška .....	27
4.2 Penetrační zkouška.....	28
4.3 Zkouška tvrdosti.....	28
4.4 Zkouška makrostruktury .....	28
5 Ověření vlastností .....	30
5.1 Vizuální zkouška.....	30
5.2 Penetrační zkouška.....	30
5.3 Zkouška tvrdosti.....	30
5.4 Zkouška makrostruktury .....	36
6 Závěr.....	42
7 Poděkování .....	43
8 Seznam použitých zdrojů .....	44
9 Seznam příloh.....	45

9.1	Příloha A .....	45
9.2	Příloha B.....	46
9.3	Příloha C.....	47
9.4	Příloha D .....	48
9.5	Příloha E.....	49
9.6	Příloha F .....	50

## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název	Jednotka
131 (MIG)	Obloukové svařování v inertním plynu	
135 (MAG)	Obloukové svařování v aktivním plynu	
BW	Butt Weld (tupý svarový spoj)	
CE	Uhlíkový ekvivalent	
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý	
EXC	Execution Class (třída provedení)	
FW	Fillet Weld (koutový svarový spoj)	
H-L045	Směr svařování nahoru a úhlem sklonu 45° u trubek	
HV	Tvrdost dle Vickerse	
IIW	International Institute of Welding	
J-L060	Směr svařování dolů a úhlem sklonu 45° u trubek	
pWPS	Preliminary Welding Procedure Specification (předběžná specifikace postupu svařování)	
PA	Poloha vodorovná shora	
PB	Poloha vodorovná šikmo shora	
PC	Poloha vodorovná	
PD	Poloha vodorovná šikmo nad hlavou	
PE	Poloha vodorovná nad hlavou	
PF	Poloha svislá nahoru	
PG	Poloha svislá dolů	
PM	Přídavný materiál	
Re	Mez pevnosti	MPa
Rm	Mez kluzu	MPa
SK	Svarový kov	
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	
U	Napětí	V
ZM	Základní materiál	



# 1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá technologickým řešením stehových svarů pro konstrukční oceli. Předmětem řešení bude provedení stehových svarů metodou 135 (MAG), jedná se o obloukové svařování v inertním plynu. Dále se bude zabývat nelegovanými uhlíkovými oceli, především konstrukční ocelí S355J2.

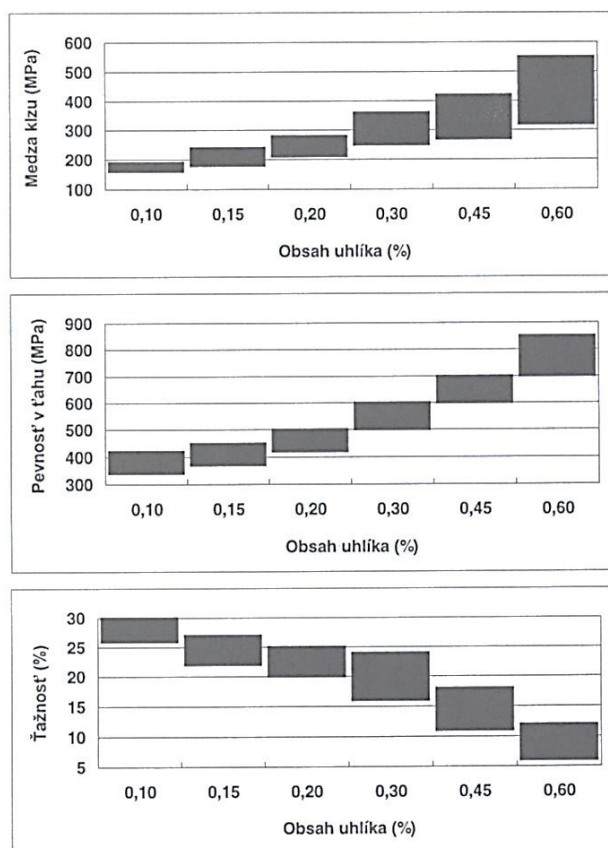
V teoretické části bude podrobněji popsáno provedení stehových svarů podle normy ČSN EN 1011-2. Hluběji bude popsána svařovací metoda 135 (MAG) a polohy při svařování. Následně budou rozebírány přídavné materiály včetně druhů ochranných plynů. Budou probírány nelegované uhlíkové oceli se zaměřením na konstrukční ocel S355J2. Tato práce se dále bude zabývat návržením a postupem ověření vlastností svarových spojů.

V praktické části bude navrženo provedení stehových svarů dle normy ČSN EN 1011 a ČSN EN 1090-2. Následně bude navrhnut postup ověření vlastností stehových svarů a ověřeny vlastnosti stehových svarů pomocí hodnocení tvrdosti a makrostruktury.

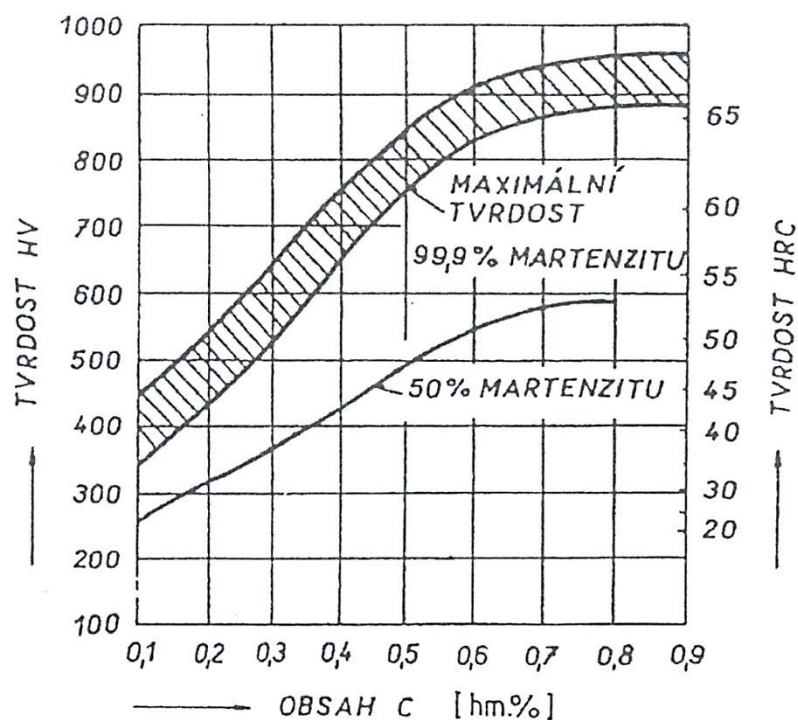
## 2 Svařitelnost

### 2.1 Svařitelnost nelegovaných ocelí

Dle ČSN EN 10027-1 spadají do skupiny 1 a jsou značeny (S, P, E...) dle využití a vlastností. Chemické složení uhlíkových ocelí nejvíce ovlivňuje svařitelnost. V těchto ocelích jsou garantovány pouze obsahy uhlíku, manganu, síry, fosforu a křemíku, přičemž obsah uhlíku má největší podíl na svařitelnost oceli. Mimo tyto hlavní prvky svařitelnost ovlivňují také ostatní legující prvky (křemík, fosfor, mangan, dusík, vodík, měď, síra a hliník) a nečistoty. Při vzrůstajícím obsahu uhlíku roste mez pevnosti, mez kluzu, tvrdost, náchylnost k zakalení a zmenšují se plastické vlastnosti kovu, což je patrné z obrázku číslo 1. Vznikající martenzit má větší tvrdost s větším obsahem uhlíku. V tepelně ovlivněné oblasti svarového spoje se zvětšuje šance na vznik studených trhlin. Na obrázku číslo 2 je znázorněna závislost tvrdosti a procenta martenzitu v tepelně ovlivněné oblasti svarového spoje. Maximální přípustná tvrdost v tepelně ovlivněné oblasti svarového spoje uhlíkové oceli je 350 HV, což je stanoveno ze závislosti na obrázku číslo 2. [1, 2]



Obrázek č. 1 Vliv uhlíku na mechanické vlastnosti nelegovaných ocelí. [2]



Obrázek č. 2 Závislost tvrdosti svarového spoje na obsahu uhlíku a na obsahu martenzitu. [1]

Pro svařování nelegovaných ocelí volíme přídatný materiál podle zvolených mechanických vlastností svarového kovu, které jsou vhodné pro danou součást, nebo konstrukci. [1]

V praktické části práce se podrobněji budeme zabývat dále materiálem z nelegované uhlíkové konstrukční oceli S355J2 dle ČSN EN 10027-1. Mechanické vlastnosti této oceli jsou patrné z tabulky číslo 1 a chemické vlastnosti jsou zaznamenány v tabulce číslo 2.

Tabulka č. 1 Mechanické vlastnosti oceli S355J2.

Re (MPa)	Rm (MPa)	Vrubová houževnatost KC3	Tažnost A <sub>5</sub> (%)
324 - 373	471 - 608	49	20 - 24

Tabulka č. 2 Chemické vlastnosti oceli S355J2.

C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Cu (%)
0,20	1,40	0,55	0,045	0,045	0,30	0,30	0,20	0,30

Ve svařitelných ocelích je obsah uhlíku omezen na menší množství než 0,25 %. Díky tomu u materiálů menších tloušťek není nutno používat předehřev. V materiálech International Institute of Welding je doporučeno nepředehřívát uhlíkové materiály s mezi pevností menší než 700 MPa při dodržení kritérií v tabulce číslo 3. [1]

*Tabulka č. 3 Mezní tloušťky a uhlíkové ekvivalenty dle IIW. [1]*

<b>Tloušťka svaru s [mm]</b>	<b>Obsah C [%]</b>	<b>C<sub>E IIW</sub></b>
$s \leq 25$	$C \leq 0,22$	$C_{E IIW} \leq 0,45$
$s \leq 37$	$C \leq 0,22$	$C_{E IIW} \leq 0,45$

Při svařování s nízkým obsahem difuzního vodíku není třeba dohřev s výjimkou větších tloušťek materiálu. Spoje vždycky předehříváme při svařování velkých tloušťek a oceli s vyšším obsahem uhlíku. Používáme například teploty z tabulky číslo 4. [1]

*Tabulka č. 4 Závislost teploty předehřevu na obsahu uhlíku. [1]*

<b>Obsah uhlíku [hm. %]</b>	<b>Teplota předehřevu [°C]</b>
0,2 až 0,3	100 až 150
0,3 až 0,45	150 až 275
0,45 až 0,8	275 až 425

K pomalejšímu ochlazování dochází také při využití svařování s větším tepelným výkonem, protože je více zahříváno okolí svaru. Pro větší tepelný výkon se využívají elektrody s větším průměrem nebo metody, které mají větší tepelný příkon na jednotku délky svaru. Při svařování ocelí s větším obsahem uhlíku je vhodné svarový spoj dohřát na teplotu vyšší než 200 °C na 2 až 6 hodin, aby se snížil obsah vodíku ve svaru. Dohřevem se docílí pozvolné ochlazování a prodlouží se čas, kdy vodík difunduje ze svaru. Součásti o větší tloušťce následně tepelně upravujeme žíháním pro snížení zbytkového napětí. [1]

## 2.2 Uhlíkový ekvivalent

Uhlíkový ekvivalent vyjadřuje vliv chemického složení ocelí na svařitelnost. Uhlíkový ekvivalent, který nejčastěji označujeme C<sub>E</sub>, udává množství zastoupení jednotlivých legujících prvků ke kalitelnosti oceli. Čím je snadnější zakalení oceli

(zvyšuje se nebezpečí vzniku zakalených křehkých struktur) ve svarovém kovu, tím horší je svařitelnost této oceli. Uhlíkový ekvivalent v sobě zahrnuje informace o chemickém složení oceli a podává tím informaci o svařitelnosti oceli. Ve všech vyjádřeních ekvivalentního uhlíku má nejdůležitější úlohu obsah uhlíku. V některých vztazích pro výpočet uhlíkového ekvivalentu se počítá i s tloušťkou svařovaného materiálu. Čím je horší svařitelnost materiálu, tím je hodnota uhlíkového ekvivalentu  $C_E$  větší. Ve vztazích pro výpočet uhlíkového ekvivalentu se zadávají obsahy jednotlivých prvků v oceli, nebo svarovém kovu v hm%. [3]

#### Dle ČSN 05 1310 se $C_E$ vypočítá:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024 \cdot s \quad [\%] \quad (2.1)$$

s = tloušťka materiálu

Tento vztah je platný pro materiály, které mají nižší obsah prvků než: C = 0,22 hm%, Mn = 1,6 hm%, Cr = 1 hm%, Ni = 3 hm%, V = 0,14 hm%, Cu = 0,3 hm%.

#### Dle mezinárodního svářečského institutu:

Tento institut vydal vzorec pro oceli s množstvím C menším než 0,25 %.

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad [\%] \quad (2.2)$$

#### Dle Ito a Bessyo:

Navrhli vzorec pro oceli s množstvím C menším než 0,16 %.

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad [\%] \quad (2.3)$$

#### Dle ČSN EN 1011-2:

Dle této normy se doporučuje počítat uhlíkový ekvivalent u feritických ocelí. Využívá se u nelegovaných, jemnozrnných a nízkolegovaných ocelí.

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad [\%] \quad (2.4)$$

Vztah je možno použít při menším obsahu prvků než:

C.....	0,05 až 0,25 hm%	Cu.....	1 hm%
Si.....	0,8 hm%	Ni.....	2,5 hm%
Mn.....	1,7 hm%	Mo.....	0,75 hm%
Cr.....	0,9 hm %	V.....	0,2 hm%

Když jsou známy pouze hodnoty obsahu C a Mn v oceli, připočítává se k výslednému CE hodnota 0,03, která zahrne ostatní prvky. Při svařování materiálů s odlišnými uhlíkovými ekvivalenty používáme vyšší hodnotu. U ocelí obsahujících bór není tato metoda vhodná.

#### Dle ČSN EN 1011-2:

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40} [\%] \quad (2.5)$$

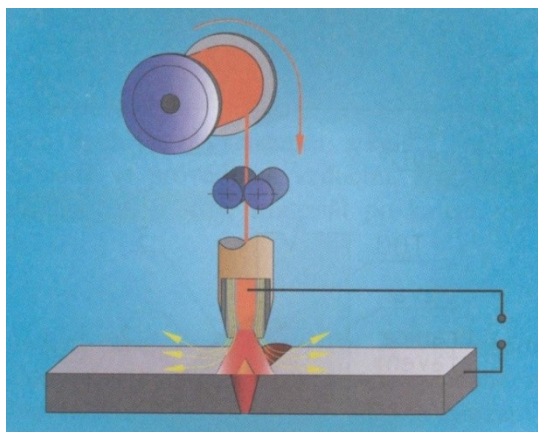
Použitelné pro zjištění uhlíkového ekvivalentu u ocelí skupin 1 až 4, dle TNI CEN ISO/TR 15608:2008 a při menším obsahu prvků než:

C.....	0,05 až 0,25 hm%	Mo.....	0,75 hm%
Si.....	0,8 hm%	Ti.....	0,12 hm%
Mn.....	0,5 až 1,9 hm%	V.....	0,18 hm%
Cr.....	1,5 hm %	B.....	0,005 hm%
Cu.....	0,7 hm %	Nb.....	0,006 hm%
Ni.....	2,5 hm %		

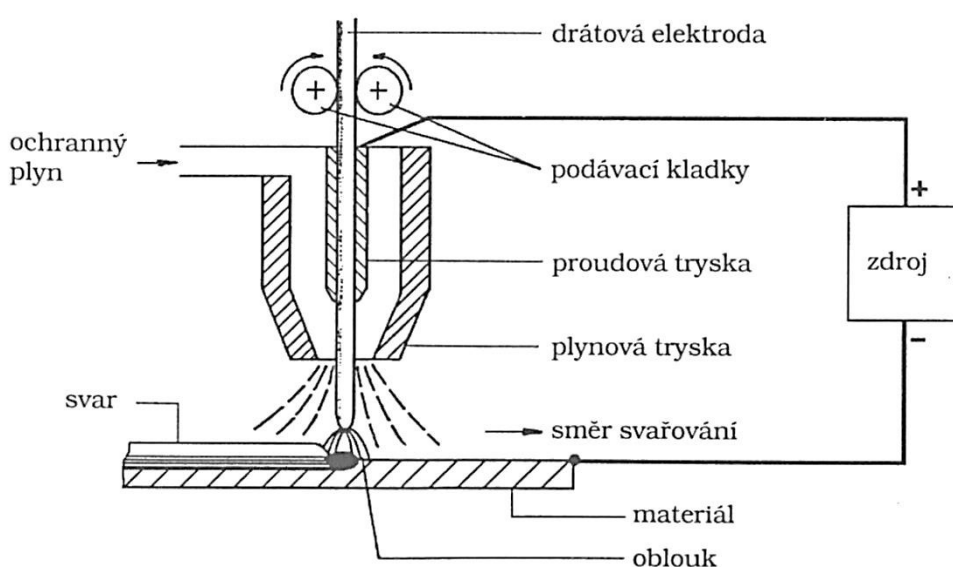
## 2.3 Technologie svařování

### 2.3.1 Metoda 135 (MAG)

Obloukové svařování elektrickým obloukem kovovou elektrodou v ochraně aktivního plynu je označováno jako metoda 135 a též MAG (z němčiny Metal Aktiv Gas). Tato metoda se hojně využívá především ke svařování nelegovaných, nízkolegovaných a vysocelegovaných ocelí. V přiváděném aktivním plynu se taví elektroda, používá se drát, který je navinutý na cívce a je podáván do hořáku dle svařovacích parametrů (svařovací proud a průměr drátu). Plyn je také přiváděn hořákem a aktivně se zúčastňuje chemických procesů v elektrickém oblouku. Jako aktivní plyn se používá především oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a směsi těchto plynů s argonem (Ar). Princip této metody je znázorněn na obrázku číslo 3 a 4. [4, 5]



Obrázek č. 3 Princip svařování metodou 135 (MAG). [5]



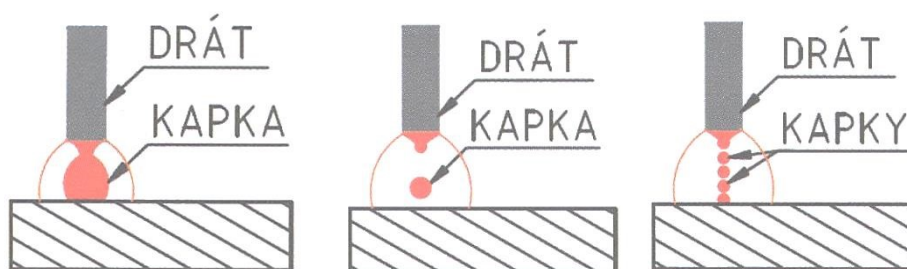
Obrázek č. 4 Princip svařování metodou 135 (MAG). [4]

### Přenos kovu v elektrickém oblouku

Nejčastěji používaný přenos kovu u metody 135 (MAG) je zkratový přenos. Druh přenosu kovu závisí hlavně na nastavení svařovacích parametrů (vhodné napětí a proud), chemickém složení přídavného materiálu, ochranném plynu, poloze svařování a polaritě. Rozlišujeme tyto základní přenosy kovu [5]:

- **Zkratový přenos:** Využívá se při napětí 14 až 23 V. Používá se pro metody 131/135 při svařování kořene a pro tenké plechy. Jedná se o nejpoužívanější přenos, nevýhodou je ovšem rozstřík kovu. Zkratový přenos je vyobrazen na obrázku číslo 5a.

- **Kapkový přenos:** Využívá se při napětí 24 až 35 V. Jedná se o vhodný přenos pro metodu 135 (MAG) při svařování plechů větších tloušťek. Přenos kovu je velkými kapkami. Kapkový přenos je vyobrazen na obrázku číslo 5b.
- **Sprchový přenos:** Využívá se při napětí 30 až 40 V. Není vhodný u metody 135 (MAG) při použití CO<sub>2</sub> jako ochranného plynu. Používá se u metody 131 (MIG). Přenos kovu je malými kapkami. Sprchový přenos je vyobrazen na obrázku číslo 5c.



Obrázek č. 5a-c Zkratový, kapkový a sprchový přenos. [5]

### 2.3.2 Přídavné materiály

Přídavné materiály jsou materiály, které se podílí na svařování, nebo jsou do svaru přidávány formou elektrody, nebo drátu. U metody 135 (MAG) se jedná o svařovací elektrodu (drát) a ochranný plyn. [6]

#### Dráty

Jako elektroda pro svařovací metodu 135 (MAG) se používá drát. Tento ocelový drát je navinutý na cívce a dodává se přibližně v 15 kg balení, někteří výrobci nabízejí i balení o hmotnosti 200 kg. Norma ČSN EN ISO 14341-A stanovuje požadavky na tyto přídavné materiály. Dráty se vyrábějí o průměru 0,6 mm, 0,8 mm, 1,0 mm, 1,2 mm, 1,6 mm, 2,0 mm, 2,4 mm atd. Nejvíce využívány jsou o průměrech 0,8 až 1,6 mm. Pro volbu druhu drátu platí, že pevnost přídavného materiálu by měla být přibližně stejná, nebo o něco vyšší než mez kluzu nebo pevnost spojovaných materiálu. Drát vybíráme s ohledem na pevnost základního materiálu, chemické složení, svařitelnost a podmínky, ve kterých bude svařovaná součást pracovat. Při svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí je zapotřebí, aby drát obsahoval



mangan a křemík, který zajistí dezoxidaci svarové lázně. Mangan i kyslík se slučují s kyslíkem a vzniklé oxidy se dostávají na povrch svaru. Po zchladnutí zůstanou jako skelná struska na svarové housence. [4, 6]

## **Plyny**

Nedílnou součástí při svařování metodou tavící se elektrody jsou ochranné plyny. Tyto plyny mají za úkol ochranu tavné lázně proti vlivům okolí. Za přítomnosti vzduchu dochází k oxidaci a nitridaci svaru, což má za následek výrazné zhoršení mechanických vlastností svaru. Ochranné plyny díky své ionizační schopnosti umožní stabilní hoření elektrického oblouku a napomáhají přenést tepelnou energii do svaru. Ochranný plyn díky svému složení a množství ovlivní tvorbu ionizovaného prostředí pro hoření elektrického oblouku, mechanické vlastnosti a celistvost svaru, přechod mezi základním materiálem a svarem, rychlost přenášení kapek, rozměry elektrického oblouku a metalurgické děje při tvoření a přenosu kapky. V současnosti jsou nejvíce využívány vícesložkové plyny. Pro metodu 135 (MAG) se nejčastěji používají oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{O}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{O}_2 + \text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{He} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ . Aktivní plyny typické pro metodu 135 (MAG) se rozdělují do skupin M1, M2, M3 a C. Ve skupině M1 je směs  $\text{Ar} + 1-2 \% \text{O}_2$ , využívá se zejména při svařování vysokolegovaných austenitických ocelí. Ve skupině M2 se používají plyny typů  $\text{Ar} + 20 \% \text{CO}_2$ , má nízký oxidační účinek (index 2), využívají se zejména pro uhlíkové a nízkolegované oceli. Ve skupině C je čistý  $\text{CO}_2$ , který má nejvyšší oxidační účinek (index 10). Plyny jsou skladovány v lahvích rozlišených barevným pruhem případně barvou láhve. [7]

### **Směsné plyny $\text{Ar} + 15$ až $25 \% \text{CO}_2$**

Nejčastěji používaným plynem pro metodu 135 (MAG) z této skupiny je směs  $\text{Ar} + 18 \% \text{CO}_2$ , plyn vhodný pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Tato směs má výborné svařovací vlastnosti, stabilní oblouk a hluboký závar. Je použitelný pro svařování se zkratovým i sprchovým přenosem kovu a pro všechny tloušťky plechů. Svar je hladký, s dobrým přechodem mezi přídatným a základním materiálem. [7]

## Směsný plyn Ar + 8 % CO<sub>2</sub>

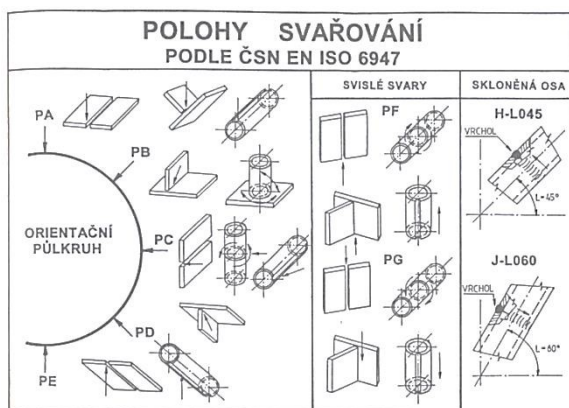
Tato směs plynů je vhodná pro kapkový a sprchový přenos kovu. Je doporučeno použití vysokých proudů a je použitelný pro všechny tloušťky plechů. Charakterizuje se rychlým svařováním, malým rozstříkem a velmi malou tvorbou strusky. [7]

## Směsné plyny Ar + 5 až 13 % CO<sub>2</sub> + 5 % O<sub>2</sub>

Při použití této směsi dosáhneme hladkých a čistých svarů. Velmi dobré odplynění a tekutost tavné lázně je díky velkému množství kyslíku. Využití zejména při mechanických a robotických způsobech svařování. [7]

### 2.3.3 Polohy svařování

Polohy svařování označujeme dle ČSN EN ISO 6947. Pro jednoznačné určení, o jakou polohu při svařování se jedná, používáme symboly pro dané polohy (viz obrázek číslo 6). Symboly těchto poloh používáme v technologických postupech, v pWPS a literatuře. Polohu vodorovnou shora označujeme PA (osa svaru je svislá, svařujeme vodorovně, svarová vrstva je nahoře), polohu vodorovnou šikmo shora PB (svařujeme vodorovně, svarová vrstva je šikmo nahoře), polohu vodorovnou PC (svařujeme vodorovně, osa svaru je vodorovná), polohu vodorovnou šikmo nad hlavou PD (svařujeme vodorovně nad hlavou, svarová vrstva je šikmo dolů), polohu vodorovnou nad hlavou PE (svařujeme vodorovně nad hlavou, osa svaru je svislá, svarová vrstva je dole), polohu svislou nahoru PF (svařujeme svisle zdola nahoru), polohu svislou dolů PG (svařujeme svisle shora dolů), polohu nahoru k vrcholu svaru a úhlem sklonu 45° u trubek značíme H-L045 a polohu od vrcholu svaru dolů a úhlem sklonu 45° u trubek značíme J-L060. [6]



Obrázek č. 6 Polohy svařování dle ČSN EN ISO 6947. [6]

### 3 Provedení stehových svarů

Pro další řešení stehových svarů budeme pracovat s normami ČSN EN 1090-2+A1, ČSN EN 1011-2, ČSN EN ISO 15613 a taky s normou ČSN EN ISO 15614-1.

Pro všechny země EU se svařování ocelových konstrukcí provádí dle ČSN EN 1090-2+A1. V této normě se popisuje provádění ocelových konstrukcí. Norma stanovuje požadavky pro posouzení shody charakteristik pro konstrukční ocelové díly a sestavy. Posuzování shody obsahuje výrobní a návrhové charakteristiky. Norma zahrnuje posouzení shody ocelových dílů v železobetonových konstrukcích. Díly mohou být využity ve stavební konstrukci nebo jako díly v sestavách. Tato norma se využívá pro sériové a kusové díly. Díly mohou být válcovány za tepla, nebo za studena, můžou být vyrobeny z různých profilů. Povrchy můžou být chráněny proti korozi. Tato norma se nezabývá posuzováním dílů pro zavěšené podhledy a kolejnic. [8]

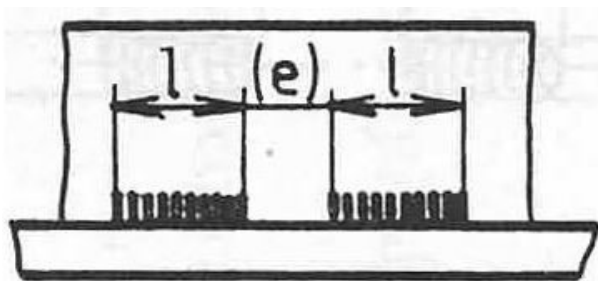
Norma ČSN EN 1011-2 se týká doporučení pro svařování kovových materiálů. Tato norma se zaměřuje na doporučení pro bezproblémovou výrobu a kontrolu svarů. V normě se taky dovíme podrobnosti o škodlivých jevech, a s jakými použitými metodami jim můžeme předcházet. Pro všechny feritické oceli je tato norma použitelná bez ohledu na to jakým způsobem byly vyrobeny. [9]

Norma ČSN EN ISO 15613 se zabývá stanovením a kvalifikací postupů svařování kovových materiálů. Tato norma určuje jak se předběžná specifikace postupu svařování pWPS klasifikuje, dle předvýrobních zkoušek. Norma se týká obloukového svařování, plamenového svařování, elektronového a laserového svařování a odporového svařování. [10]

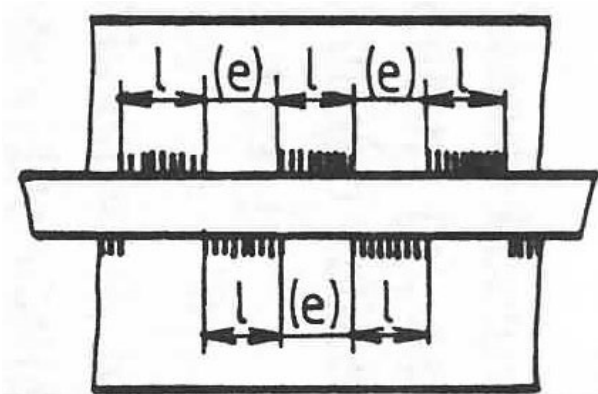
Norma ČSN EN ISO 15614-1 se zabývá zkouškami postupu svařování. Dle této normy je nezbytné provádět jen tyto doplňující zkoušky na vzorku, kde jsou požadovány doplňkové zkoušky, aby vyhověly daným technickým parametrům. Tato norma určuje podmínky provedení zkoušek postupu svařování a rozsah kvalifikace pro svářečské operace. [11]

Stehováním svaru se zabýváme, protože se jedná o důležitou přípravu svařování. Je velmi důležité, aby svařování stehových svarů byla věnována minimálně stejná pozornost, jako samotnému svařování.

Stehování svaru používáme pro spojení součástí před tím, než zahájíme samotné svařování. Díky tomu nám spojované součásti drží v poloze, v jaké budou po dokončení svaru na celé součásti. Stehové svary se používají zejména u delších svarových ploch a u součástí, kde není možno jiným způsobem zajistit, aby svařované součásti držely v poloze, jakou potřebujeme pro svařování. Dle ČSN EN 1011-2 je doporučeno, aby minimální délka stehového svaru byla 50 mm. Pro materiály, jejichž tloušťka nedosahuje 12 mm, musí být minimální délka stehového svaru rovna čtyřnásobku tloušťky tlustšího materiálu. U materiálů tlustších než 50 mm, nebo u materiálů, jejichž mez kluzu přesahuje 500 Mpa, se klade důraz na zvětšení délky a velikosti stehových svarů. Je možno využití svařování na dvě vrstvy. Na obrázku číslo 7 a 8 je znázorněno provedení stehových svarů. Přídavné materiály s nižší pevností nebo s vyšší tažností se využívají zejména při svařování vysokolegovaných ocelí. Při svařování těchto ocelí je nezbytné toto zohlednit. [9, 12]



Obrázek č. 7 Přerušované koutové stehové svary ( $l$  = délka stehu,  $e$  = délka mezi stehy). [13]



Obrázek č. 8 Předsazené oboustranné stehové svary ( $l$  = délka stehu,  $e$  = délka mezi stehy). [13]

Požadavek na kvalifikaci a ověření stehových svarů stanovuje norma ČSN EN 1090-2 pro všechny výrobce ocelových konstrukcí, kteří dodávají výrobky v zemích evropské unie. V závislosti na třídě EXC2, EXC3 a EXC4 se musí provést za použití kvalifikovaného postupu svařování a kvalifikovaným svářečem. Stehové svary, které nebudou zabudovány do výsledných svarů, je nutno odstranit. Stehové svary, které budou zabudovány do výsledných svarů a zakomponují se do svarového spoje, je zapotřebí provádět kvalifikovaným svářečem, použít stejnou technologii svařování a musí splňovat požadovaný rozměr. Stehové svary nesmí mít žádnou vadu, před výsledným zavařením musí být důkladně očištěny. Stehové svary obsahující trhlinu nebo jiné poškození, musí být odstraněny. [9, 12]

### 3.1 Návrh vzorků pro experimentální práce

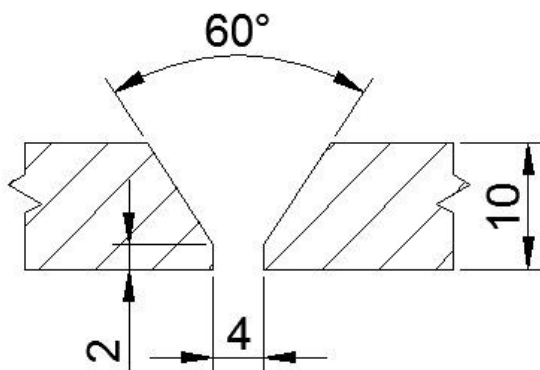
Cílem práce je ověřit vlastnosti stehových svarů na vybraných tloušťkách a typech spojů pro nejrozšířenější metody 111, 135 a 138 používané při výrobě a montáži ocelových konstrukcí. Jedná se o vzorky z nelegované uhlíkové konstrukční oceli S355J2. Přehled svařovaných vzorků 1 až 6 jsou přehledně zaznamenány v tabulce číslo 5.

*Tabulka č. 5 Přehled svařovaných vzorků.*

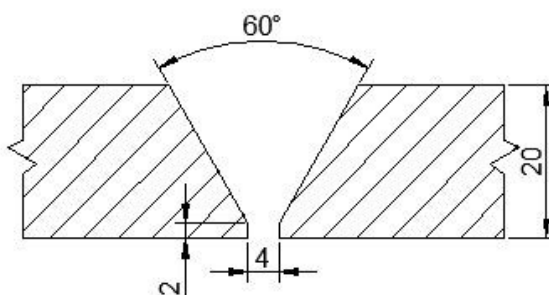
Číslo vzorku	Metoda	Typ	Materiál	Tloušťka
1	135	Tupý spoj - BW	S355J2	10 mm
2	135	Tupý spoj - BW	S355J2	20 mm
3	135	Tupý spoj - BW	S355J2	30 mm
4	111	Koutový spoj - FW	S355J2	30 mm
5	135	Koutový spoj - FW	S355J2	30 mm
6	138	Koutový spoj - FW	S355J2	10 mm

Před samotným svařováním jsme důkladně připravili svarové plochy. Hrany svařovaného materiálu byly připraveny frézováním, úhlovou brusku a lehce přebroušeny. Úprava vzorků 1 až 6 je znázorněna na obrázku číslo 9a-e. Následně jsme plochy mechanicky očistili a zbavili mastnoty odmašťovadlem. Svařované součásti byly sestaveny podle zásad na přípravu svarových ploch. Bylo důležité ponechat po celé délce svaru stejnou mezeru a vše důkladně přeměřit, aby výsledné svařované

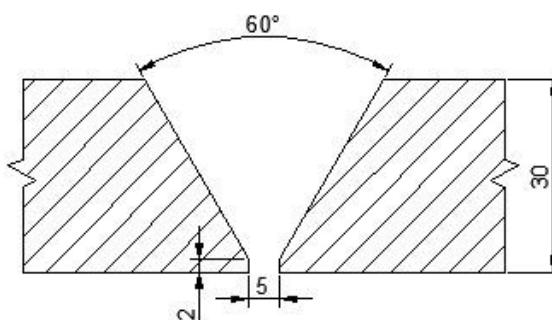
díly vyhovovaly dle zadaných požadavků. Poté jsme začali spojovat díly stehováním, což jsou krátké svary, které nám zajistí soudržnost svařovaných dílů v dané pozici. Po dokončení stehování součásti jsou již k sobě jednotlivé díly připevněny, tak jak požadujeme u výsledných svařovaných součástí.



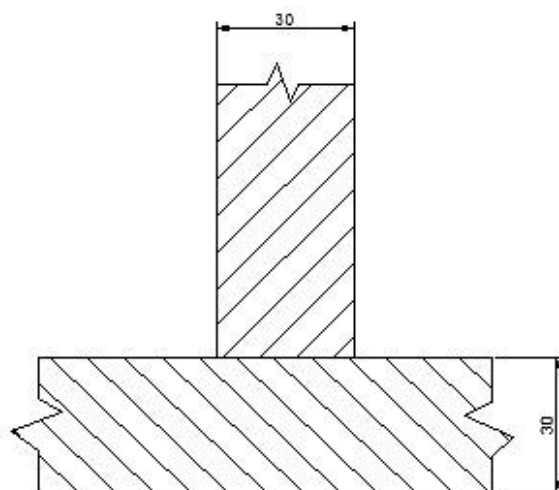
Obrázek č. 9a Schéma úpravy vzorku 1.



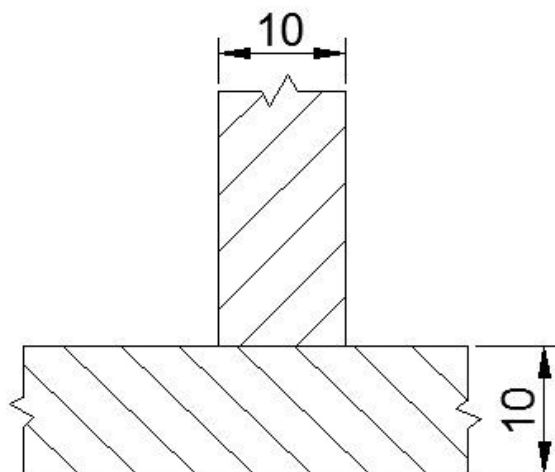
Obrázek č. 9b Schéma úpravy vzorku 2.



Obrázek č. 9c Schéma úpravy vzorku 3.



*Obrázek č. 9d Schéma úpravy vzorku 4 a 5.*



*Obrázek č. 9e Schéma úpravy vzorku 6.*

Po dokončení svařování jsme odstranili okuje a strusku oklepáním a drátěným kartáčem. Následně proběhla kontrola, zda svařování proběhlo bez vzniklých vad.

Pro ověření vlastností stehových svarů jsme zhotovili šest vzorků z konstrukční oceli. Pro přehlednost jsou vzorky očíslovány 1 až 6. Jedná se o tři vzorky tupých svarů (obrázek č. 10a-c) a tři vzorky koutových svarů (obrázek č. 11a-c) z konstrukční oceli S355J2. Všechny vzorky tupých svarů byly zhotoveny metodou 135 (MAG), vzorky koutových svarů metodou 135 (MAG), 138 a 111. Pro kvalifikaci stehových svarů na koutové svary byla zvolena norma ČSN EN ISO 15614-1 a pro tupé svary norma ČSN EN ISO 15613.



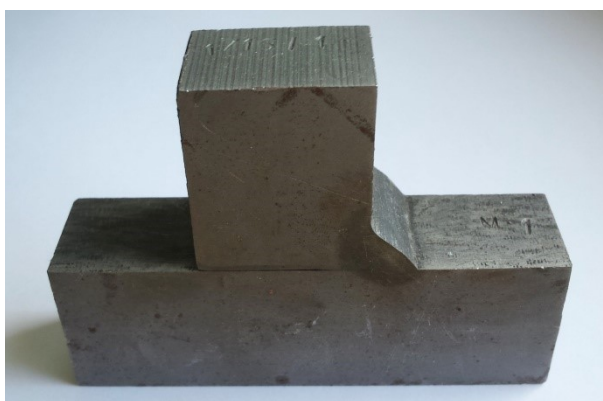
*Obrázek č. 10a Vzorek 1 tloušťky 10 mm svařen metodou 135.*



*Obrázek č. 10b Vzorek 2 tloušťky 20 mm svařen metodou 135.*

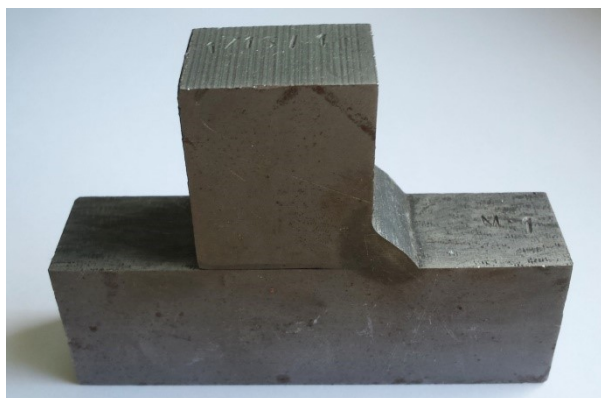


*Obrázek č. 10c Vzorek 3 tloušťky 30 mm svařen metodou 135.*



*Obrázek č. 11a Vzorek 4 tloušťky 30 mm svařen metodou 111.*





*Obrázek č. 11b Vzorek 5 tloušťky 30 mm svařen metodou 135.*



*Obrázek č. 11c Vzorek 6 tloušťky 10 mm svařen metodou 138.*

### **3.2 Podmínky svařování stehových svarů**

Předběžné specifikace postupu svařování pWPS pro jednotlivé vzorky jsou v přílohách A až F. Podmínky pro svařování vzorků 1 až 6 jsou v tabulce číslo 6. Vzorky jsme svařovali proudem v rozsahu od 120 do 245 A, napětím od 18,5 do 31 V, rychlostí svařování od 1,5 do 6,1 mm/s, tepelným příkonem od 0,45 do 1,59 kJ/mm a za teploty předehřevu od 15 do 150 °C, což znamená, že za běžných podmínek okolo 20°C není nutno u některých vzorků předehřev použít.

Tabulka č. 6 Podmínky svařovaných vzorků.

Číslo vzorku	Metoda	PM	Proud (A)	Napětí (V)	Rychlost svařování (mm/s)	Tepelný příkon (kJ/mm)	Teplota předehřevu (°C)
1	135	G3Si1 a Stargon C18	154 - 160	19,3 – 19,8	2,4 – 2,5	0,71 – 1,02	20
2	135	AristoRod 12.50 a Stargon C18	120 - 138	18,5 – 18,9	1,9 – 2,1	0,80 – 1,27	20
3	135	AristoRod 12.50 a Stargon C18	154 - 160	19,3 – 19,8	1,5 – 2,1	0,85 – 1,59	100 – 150
4	111	EVb 50	131 - 132	24 - 26	1,8 – 2,0	0,92 – 1,32	150
5	135	Tysweld SG2 a Stargon C18	235 - 240	30 - 31	2,3 – 6,1	0,45 – 1,45	100
6	138	Stein-Megafil 710M a Stargon C18	240 - 245	23,5 – 24,0	3,3 – 3,5	1,26 – 1,43	15

## 4 Návrh postupu ověření vlastností

Po dokončení svařování následuje nezbytná součást, což je kontrola, zda nedošlo k nějaké vadě v materiálu a ověření vlastností svařovaných součástí. Abychom mohli deklarovat určité vlastnosti, je důležité mít ověřeny vlastnosti pro daný materiál, metodu a parametry svařování. Rozlišujeme tyto metody:

- Nedestruktivní:
  - Vizuální
  - Penetrační
- Destruktivní:
  - Zkoušky tvrdosti
  - Makrostruktura

Destruktivní zkoušky se zhotovují před zahájením výroby svařovaných součástí. Vytváří se na zkušebních vzorcích, které se znehodnotí. Proto není možné takto zkontrolovat každý svar a zkouší se jen daný materiál v přesně totožných podmínkách, v jakých budeme svařovat. Předpokládá se stejné chování materiálu. Nedestruktivní zkoušky jsou určeny především pro kontrolu svaru na již dané součásti bez jejího znehodnocení. U těchto zkoušek zjistíme pouze povrchové vady, kromě radiologické a ultrazvukové zkoušky, z těch se dozvíme i vnitřní vady. Nejzákladnější zkouška je vizuální. Měla by být vždy provedena zkušeným pracovníkem s odbornou kvalifikací a certifikátem.

Mé vzorky jsme kontrolovali dvěma nedestruktivními a dvěma destruktivními zkouškami. Jedná se o zkoušku tvrdosti svarového spoje, zkoušku makrostruktury svarového spoje, penetrační zkoušku a v neposlední řadě vizuální zkoušku. Všechny zkoušky jsme provedli v akreditovaných zkušebnách.

### 4.1 Vizuální zkouška

Vizuální zkouška je jedna z nejpoužívanějších nedestruktivních metod zkoušení. Tato metoda odhaluje povrchové vady (převýšení svaru, trhliny, studené spoje a vady

kořene). Zkoušku musí provádět zkušená osoba s praxí, odbornou kvalifikací a certifikátem. Je možné kontrolovat pouze vlastním zrakem, případně pro lepší kontrolu je nezbytné použití například lupy a dobrého osvětlení. [3]

## **4.2 Penetrační zkouška**

Tato zkouška je určena jen pro zjištění vad, které jsou na povrchu otevřené. Podstatou je použití kapaliny o nízkém povrchovém napětí, která pronikne do otevřené vady. Po odstranění přebývajících kapaliny z povrchu vzlíná kapalina z vad do nanesené vývojky, tím se zviditelní vady na povrchu. Dle zviditelnění rozlišujeme metodu barevné indikace, fluorescenční a dvouúčelovou. Barevná indikace se projeví jako kontrastní zbarvení vad, fluorescenční indikace se projeví jako světélkující indikace a dvouúčelová indikace se projeví kombinací dvou předešlých metod, projeví se jako barevná a zároveň i světélkující indikace. [3]

## **4.3 Zkouška tvrdosti**

Zkouška tvrdosti se řídí normou ČSN EN 1043-1. [14] Tvrdost na vzorcích se měří dle Vickerse při zatížení 49 N, nebo 98 N (HV 5, nebo HV 10). Zadané vzorky jsem měřil dle Vickerse HV 10. Zkouška se provádí za normálních podmínek při teplotě okolo 20 °C. Vzorky se ze svaru odebírají mechanickým řezáním z důvodu, aby jejich povrch nebyl ovlivněn technologií dělení. Vzorek se řeže kolmo na osu svaru a musí obsahovat základní materiál, tepelně ovlivněnou oblast a svarový kov. Povrchová část vzorku se obrousí, případně naleptá, aby se zviditelnily jednotlivé oblasti svarového spoje. Vzorky jsou použitelné jak pro makrostrukturu, tak pro měření tvrdosti. Rozmístění a počet vtisků dle Vickerse musí být dostatečný pro určení oblastí se zvýšenou, nebo sníženou tvrdostí vzniklou kvůli svařování. Pro zvolený základní materiál S355J2 je podle normy ČSN EN ISO 15 614-1 maximální přípustná hodnota tvrdosti 380 HV 10, pro stav po svaření. [3]

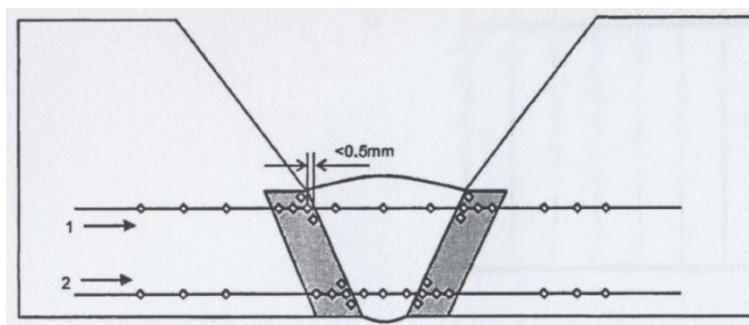
## **4.4 Zkouška makrostruktury**

Podstata této zkoušky je ve vybroušení povrchu vzorku a následném naleptání pro vyvolání makrostruktury. Často využívána leptadla jsou vodní 10 % roztoky

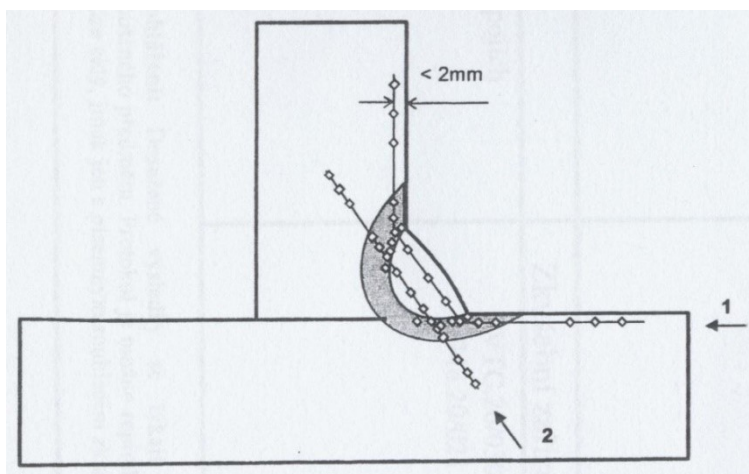
kyseliny dusičné nebo persíranu amonného. Makrostruktura svaru se hodnotí vizuálně pouhým okem nebo za pomoci lupy, případně optickým mikroskopem. Zkoumané vzorky musí obsahovat materiál neovlivněný svařováním, tepelně ovlivněnou oblast a svarový kov. Při zkoušce makrostruktury klademe důraz především na: [3]

- Tvar svaru
- Provaření kořene svaru
- Výskyt defektů ve svaru (póry, vměstky, studené spoje a trhliny)
- Šířku tepelně ovlivněné oblasti

Zkouška tvrdosti HV 10 byla provedena při zkušební teplotě 20 °C dle prováděcího předpisu ČSN EN ISO 9015-1. Měření na vzorcích tupých svarů byly provedeny dle obrázku číslo 12 a vtisky na vzorcích koutových svarů dle obrázku číslo 13. Měření byly v základním materiálu, tepelně ovlivněné oblasti a svarovém kovu.



Obrázek č. 12 Rozmístění vtisků na vzorcích tupých svarů.



Obrázek č. 13 Rozmístění vtisků na vzorcích koutových svarů.

## 5 Ověření vlastností

### 5.1 Vizuální zkouška

Vizuální zkouška byla prováděna dle prováděcí normy ČSN EN ISO 17 637. Zkouška se dělala za pomoci přídavného osvětlení 650 Lx a pomoci lupy, aby se docílilo přiblížení a lepší kontroly, zda svary neobsahují vměstky, trhliny, studené spoje, nebo neprovaření kořene. Nebyly zjištěny žádné vady a svary byly vyhodnoceny jako vyhovující

### 5.2 Penetrační zkouška

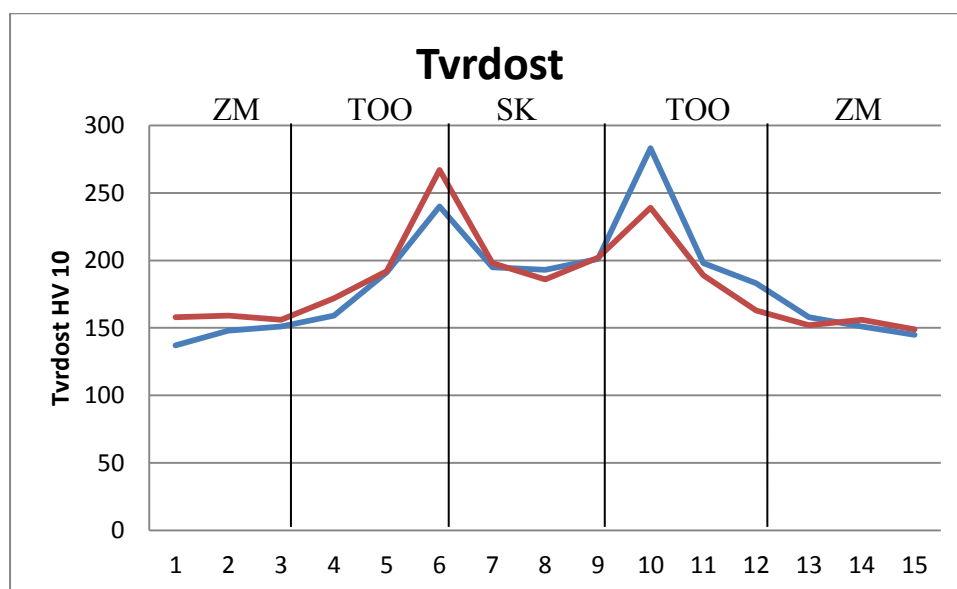
Penetrační zkouška byla prováděna metodou barevné indikace. Vzorky jsme očistili, na povrch vzorku jsme nastříkali penetrant a po 15 minutách jsme očistili přebytečný penetrant z povrchu. Následně jsme nanесли vývojku, která vyvolala barevnou indikaci. Vzorky jsme vyhodnotili jako vyhovující, protože nebyly zaznamenány žádné indikace znázorňující vady svaru.

### 5.3 Zkouška tvrdosti

Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 1 jsou zaznamenány v tabulce číslo 7. Následně byly zpracovány do grafu, který je patrný na obrázku číslo 14.

Tabulka č. 7 Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 1.

TVRDOST HV 10															
Základní materiál			TOO			Svarový kov			TOO			Základní materiál			
1 →				187						254					
	137	148	151	159	191	240	195	193	201	283	198	183	158	151	145
				262						261					
2 →				271						234					
	158	159	156	172	192	267	198	186	202	239	189	163	152	156	149
				272						241					

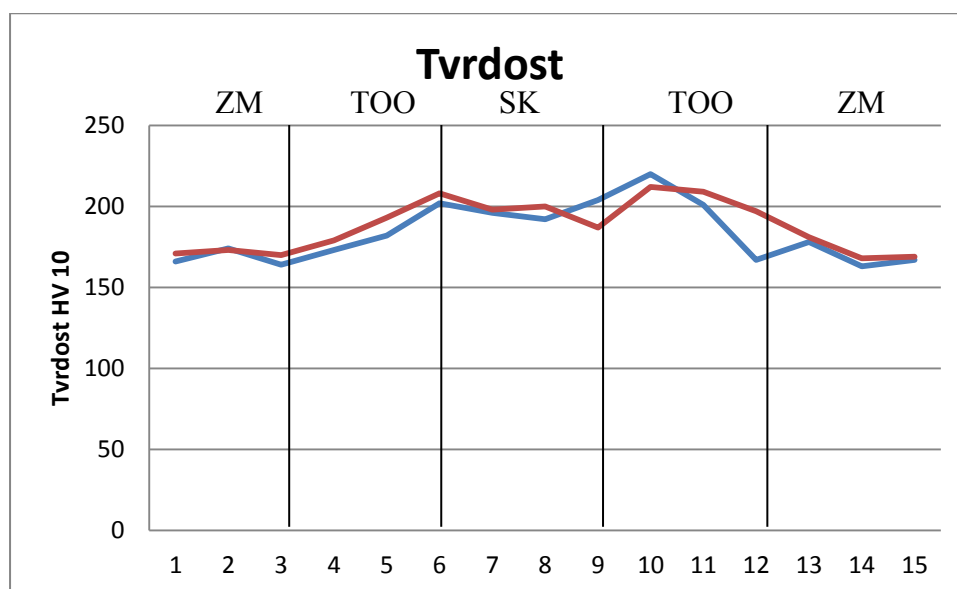


Z grafů můžeme vidět, že nejvyšší hodnoty tvrdosti byly naměřeny v tepelně ovlivněné oblasti. Maximální hodnota byla naměřena 283 HV 10 a nejnižší hodnota 137 HV 10, což splňuje podmínku, aby nebyla překročena hodnota 380 HV 10. Ze zkoušky tedy vyplývá, že je materiál vyhovující.

Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 2 jsou zaznamenány v tabulce číslo 8. Následně byly zpracovány do grafu, který je patrný na obrázku číslo 15.

*Tabulka č. 8 Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 2.*

TVRDOST HV 10															
Základní materiál	TOO					Svarový kov	TOO					Základní materiál			
1 →	166	174	164	173	182	210	196	192	204	214	201	167	178	163	167
						202				220					
						195				223					
2 →	171	173	170	179	193	200	198	200	187	224	209	197	181	168	169
						208				212					
						210				213					



Obrázek č. 15 Graf naměřených tvrdostí vzorku 2.

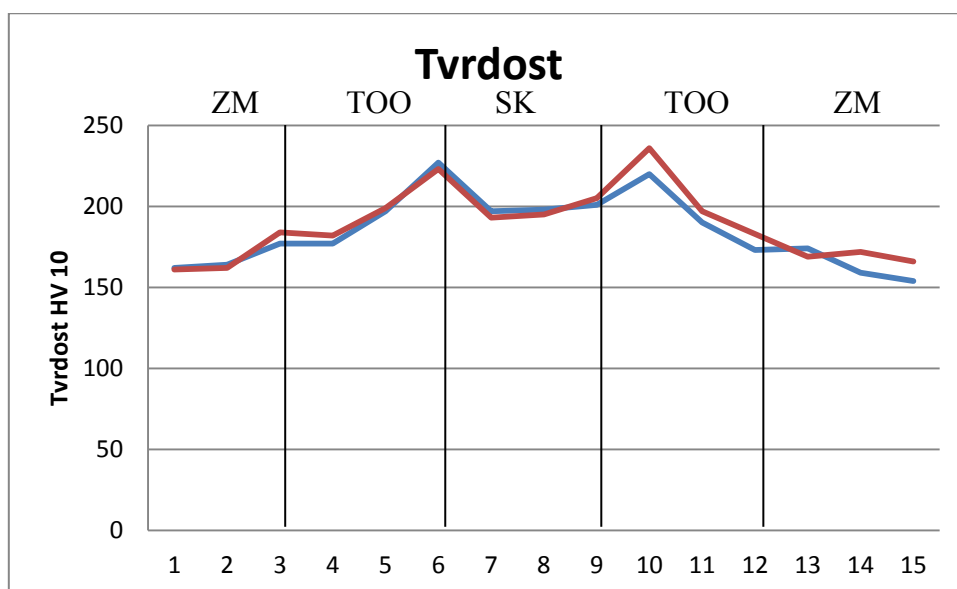
Z grafů můžeme vidět, že nejvyšší hodnoty tvrdosti byly naměřeny v tepelně ovlivněné oblasti, ovšem nejsou extrémně vysoké vůči základnímu materiálu, jsou jen o něco málo vyšší. Maximální hodnota byla naměřena 224 HV 10 a nejnižší hodnota 163 HV 10, což splňuje podmínku, aby nebyla překročena hodnota 380 HV 10. Ze zkoušky tedy vyplývá, že je materiál vyhovující.

Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 3 jsou zaznamenány v tabulce číslo 9. Následně byly zpracovány do grafu, který je patrný na obrázku číslo 16.

Tabulka č. 9 Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 3.

TVRDOST HV 10															
Základní materiál			TOO			Svarový kov			TOO			Základní materiál			
1 →	162	164	177	177	197	216	197	198	201	213	190	173	174	159	154
						227				220					
						215				221					
2 →	161	162	184	182	199	236	193	195	205	228	197	183	169	172	166
						223				236					
						220				242					





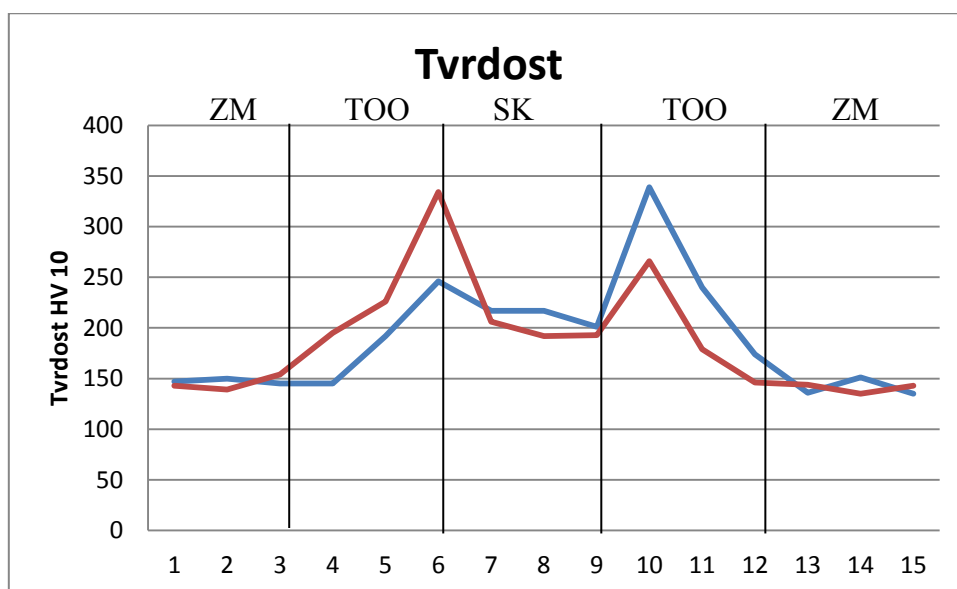
Obrázek č. 16 Graf naměřených tvrdostí vzorku 3.

Z grafů můžeme vidět, že nejvyšší hodnoty tvrdosti byly naměřeny v tepelně ovlivněné oblasti, ovšem nejsou extrémně vysoké vůči základnímu materiálu, jsou jen o něco málo vyšší. Maximální hodnota byla naměřena 242 HV 10 a nejnižší hodnota 154 HV 10, což splňuje podmínku, aby nebyla překročena hodnota 380 HV 10. Ze zkoušky tedy vyplývá, že je materiál vyhovující.

Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 4 jsou zaznamenány v tabulce číslo 10. Následně byly zpracovány do grafu, který je patrný na obrázku číslo 17.

Tabulka č. 10 Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 4.

TVRDOST HV 10																
Základní materiál			TOO			Svarový kov			TOO			Základní materiál				
					270						320					
1 →	147	150	145	145	192	246	217	217	201	339	240	174	136	151	135	
					250						353					
					255						320					
2 →	143	139	154	195	226	334	206	192	193	266	179	146	144	135	143	
					258						224					



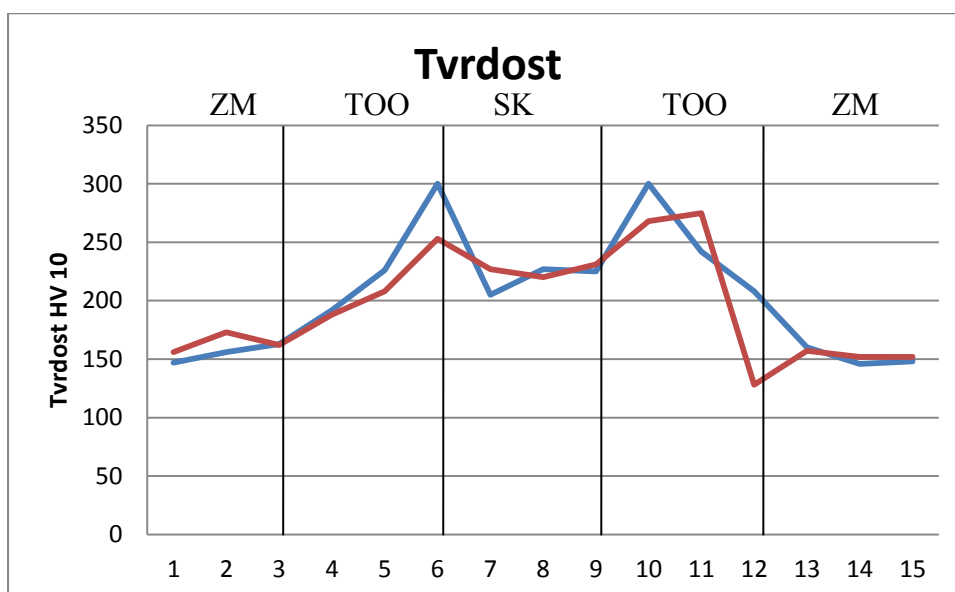
Obrázek č. 17 Graf naměřených tvrdostí vzorku 4.

Z grafů můžeme vidět, že nejvyšší hodnoty tvrdosti byly naměřeny v tepelně ovlivněné oblasti. Maximální hodnota byla naměřena 353 HV 10 a nejnižší hodnota 135 HV 10, což splňuje podmínku, aby nebyla překročena hodnota 380 HV 10. Ze zkoušky tedy vyplývá, že je materiál vyhovující.

Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 5 jsou zaznamenány v tabulce číslo 11. Následně byly zpracovány do grafu, který je patrný na obrázku číslo 18.

Tabulka č. 11 Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 5.

TVRDOST HV 10																	
Základní materiál		TOO		Svarový kov		TOO		Základní materiál									
1 →						292						223					
	147	156	163	192	226	300	205	227	225	300	242	208	160	146	148		
						301						283					
2 →						250						168					
	156	173	162	188	208	253	227	220	231	268	275	128	157	152	152		
						232						272					



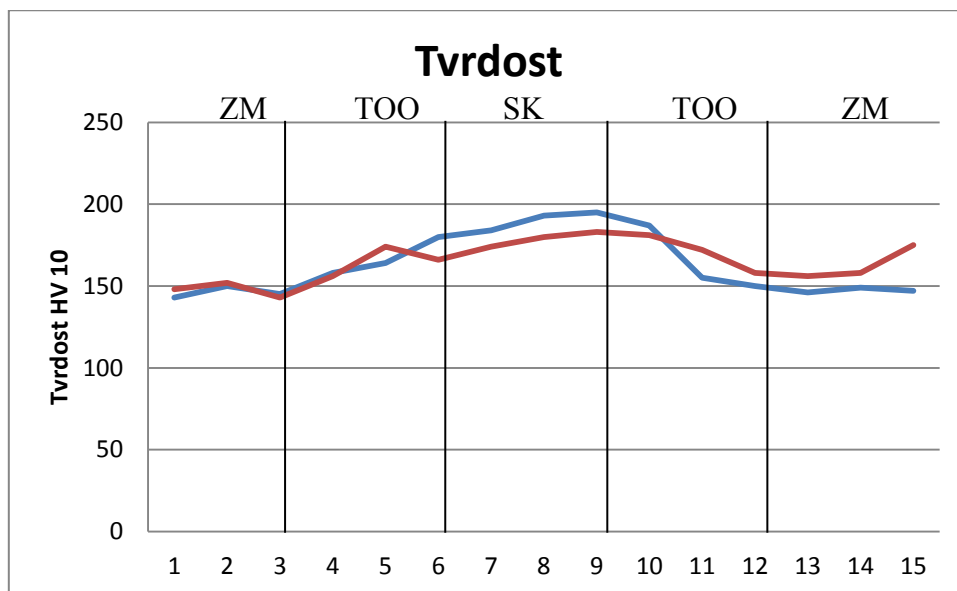
Obrázek č. 18 Graf naměřených tvrdostí vzorku 5.

Z grafů můžeme vidět, že nejvyšší hodnoty tvrdosti byly naměřeny v tepelně ovlivněné oblasti. Maximální hodnota byla naměřena 301 HV 10 a nejnižší hodnota 128 HV 10, což splňuje podmínku, aby nebyla překročena hodnota 380 HV 10. Ze zkoušky tedy vyplývá, že je materiál vyhovující.

Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 6 jsou zaznamenány v tabulce číslo 12. Následně byly zpracovány do grafu, který je patrný na obrázku číslo 19.

Tabulka č. 12 Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku 6.

TVRDOST HV 10															
Základní materiál		TOO		Svarový kov		TOO		Základní materiál							
1 →					179			179							
	143	150	145	158	164	180	184	193	195	187	155	150	146	149	147
					176					187					
2 →					164			192							
	148	152	143	156	174	166	174	180	183	181	172	158	156	158	175
					166					186					

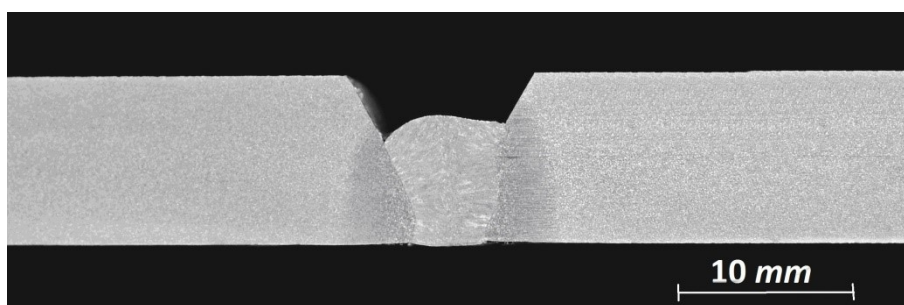


Obrázek č. 19 Graf naměřených tvrdostí vzorku 6.

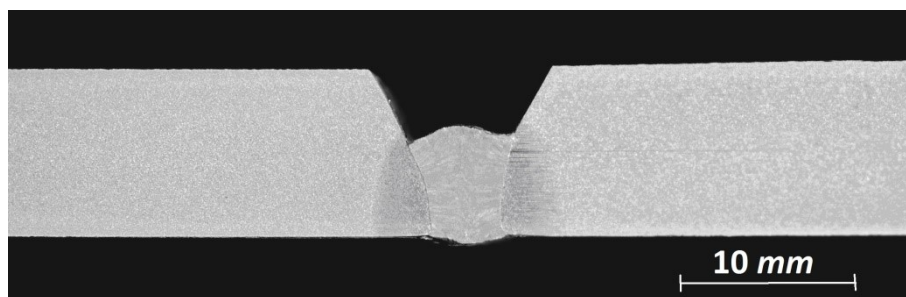
Z grafů můžeme vidět, že nejvyšší hodnoty tvrdosti byly naměřeny v tepelně ovlivněné oblasti. Maximální hodnota byla naměřena 195 HV 10 a nejnižší hodnota 143 HV 10, což splňuje podmínku, aby nebyla překročena hodnota 380 HV 10. Ze zkoušky tedy vyplývá, že je materiál vyhovující.

#### 5.4 Zkouška makrostruktury

Zkouška se provádí dle prováděcího předpisu ČSN EN ISO 17639. Makrostruktura byla kontrolována po naleptání v 15 % roztoku  $\text{HNO}_3$ . Fotografická dokumentace makrostruktury vzorku 1 je na obrázku číslo 20a-b.

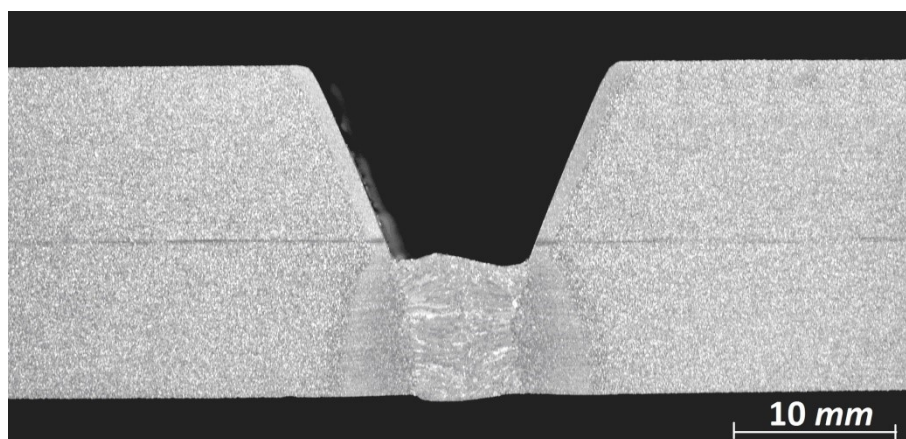


Obrázek č. 20a Makrostruktura vzorku 1.

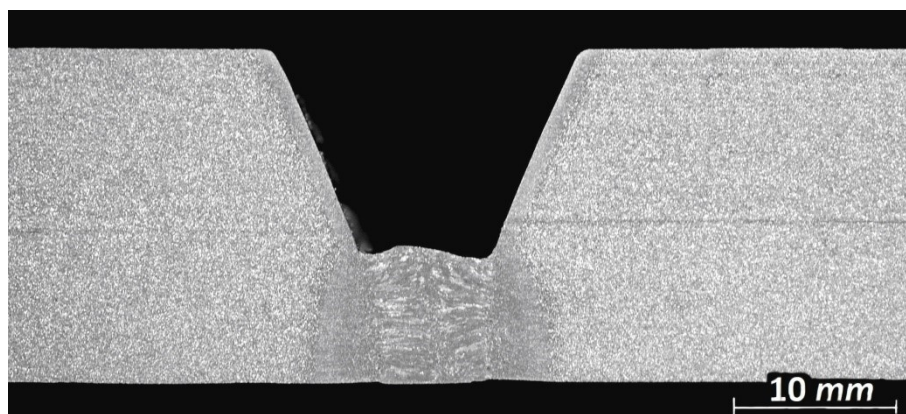


*Obrázek č. 20b Makrostruktura vzorku 1.*

Fotografická dokumentace vzorku 2 je na obrázku číslo 21a-b.

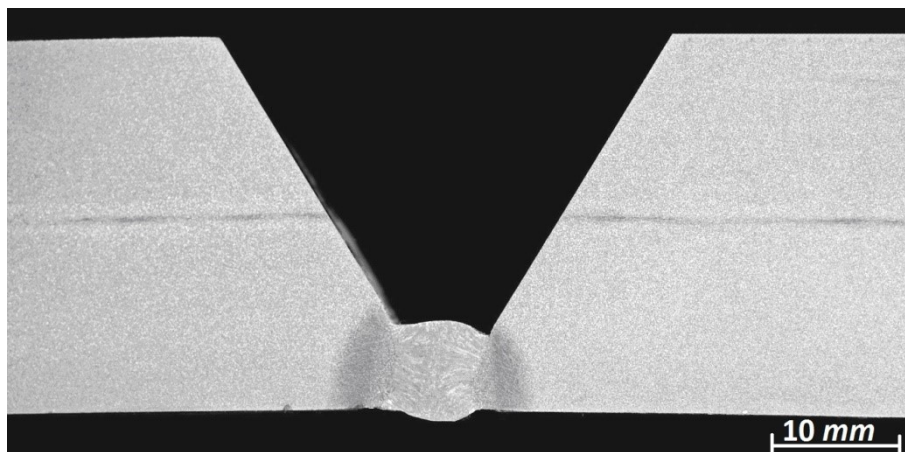


*Obrázek č. 21a Makrostruktura vzorku 2.*

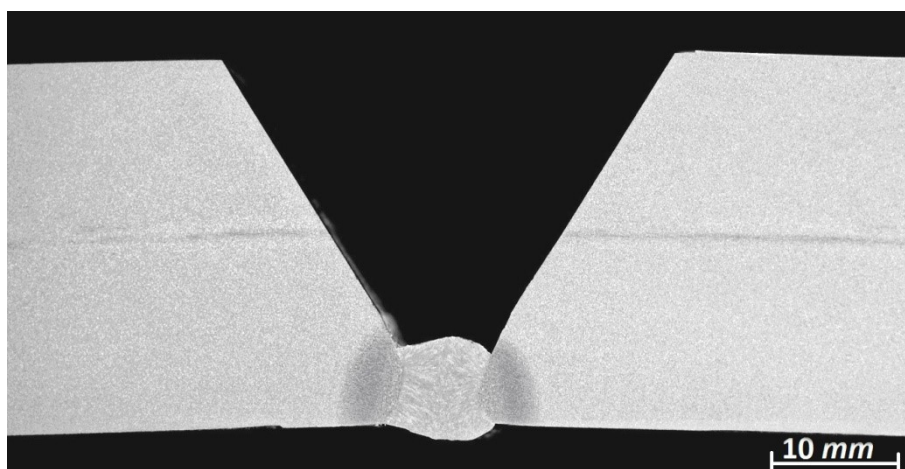


*Obrázek č. 21b Makrostruktura vzorku 2.*

Fotografická dokumentace vzorku 3 je na obrázku číslo 22a-b.

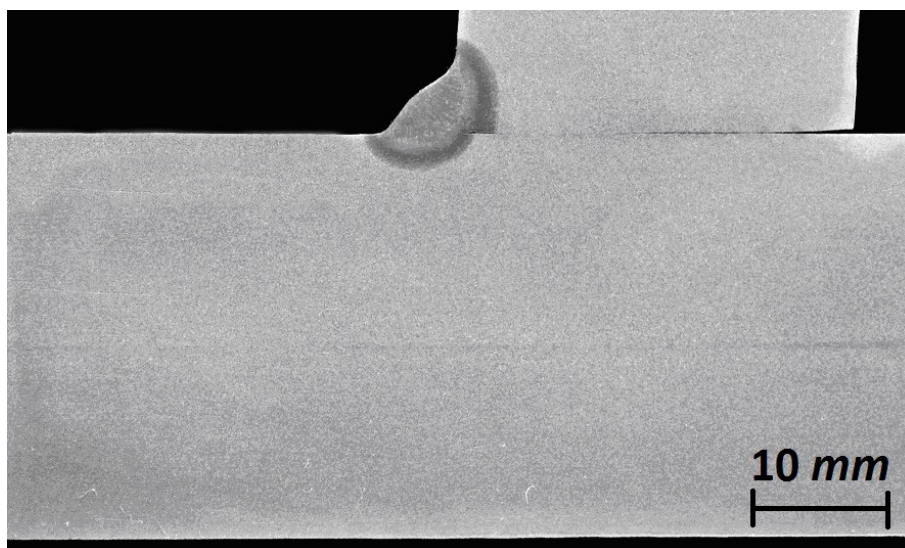


*Obrázek č. 22a Makrostruktura vzorku 3.*



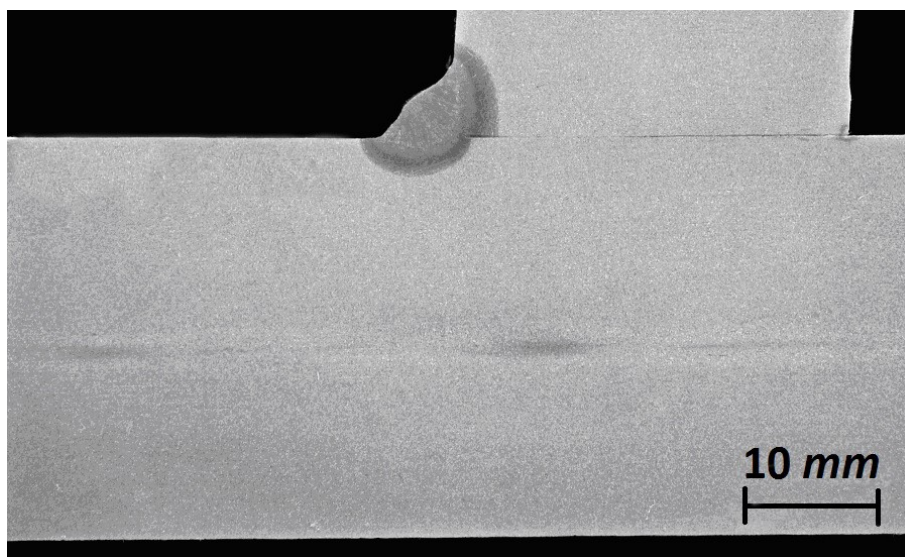
*Obrázek č. 22b Makrostruktura vzorku 3.*

Fotografická dokumentace vzorku 4 je na obrázku číslo 23a-b.



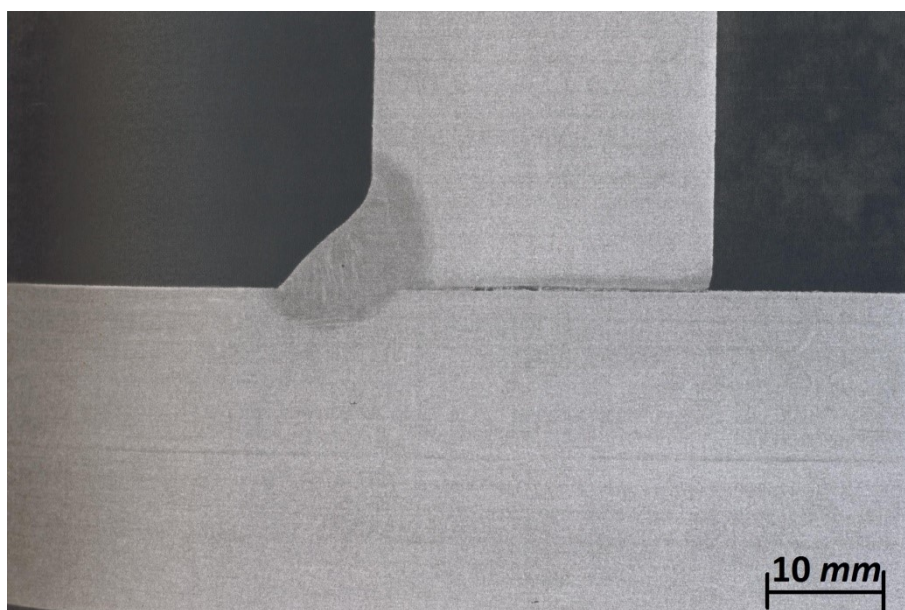
*Obrázek č. 23a Makrostruktura vzorku 4.*



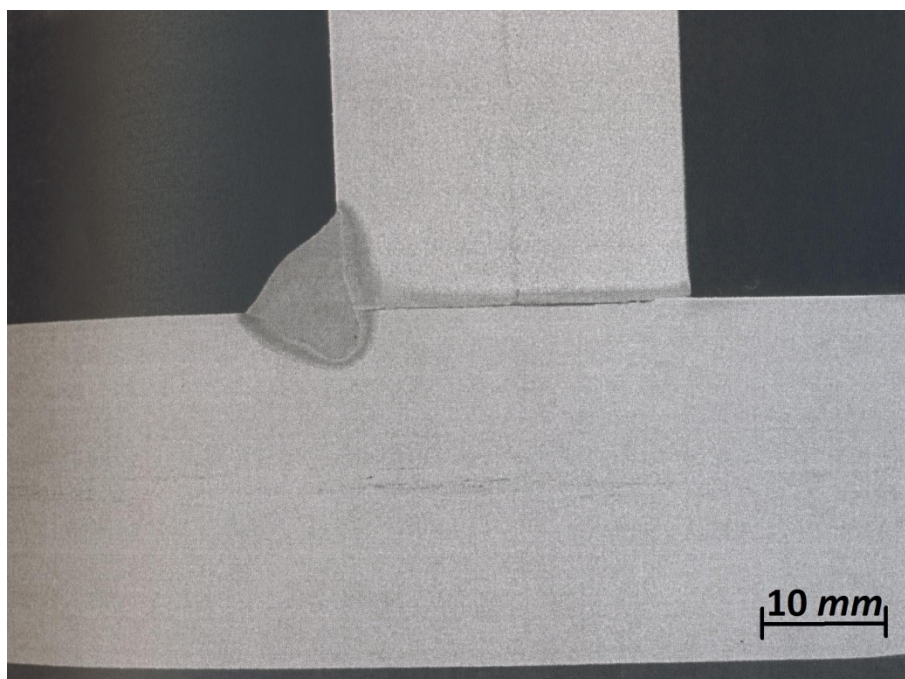


Obrázek č. 23b Makrostruktura vzorku 4.

Fotografická dokumentace vzorku 5 je na obrázku číslo 24a-b.

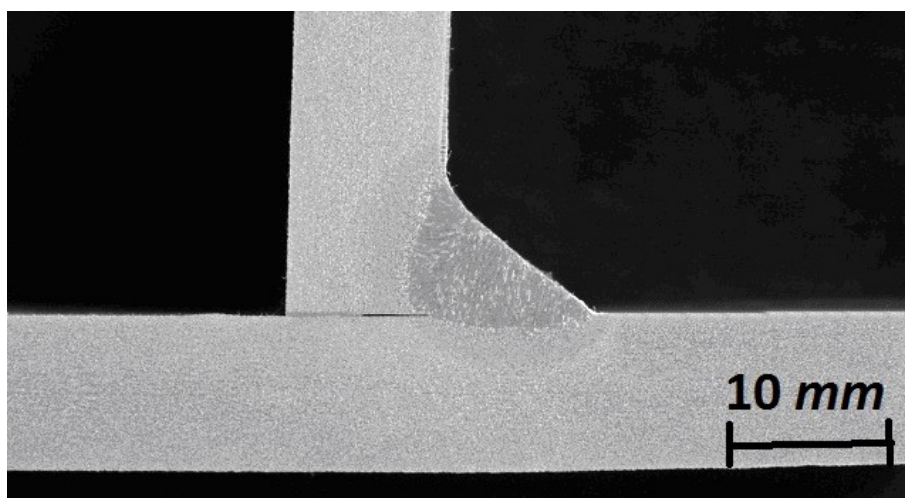


*Obrázek č. 24a Makrostrukura vzorku 5.*



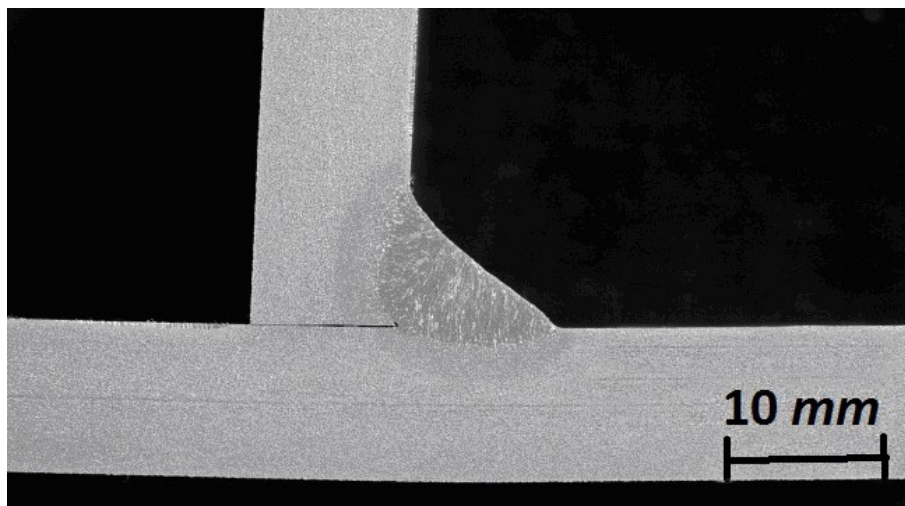
*Obrázek č. 24b Makrostruktura vzorku 5.*

Fotografická dokumentace vzorku 6 je na obrázku číslo 25a-b.



*Obrázek č. 25a Makrostruktura vzorku 6.*





*Obrázek č. 25b Makrostruktura vzorku 6.*

Při hodnocení vzorků, zda svarový kov nevykazuje vnitřní vady jako póry, vměstky, studené spoje, nebo trhliny. Na základě zhodnocení všech výsledků bylo možné stehové svary na koutovém a tupém spoji svařeném metodami 111, 135 a 138 úspěšně kvalifikovat podle norem ČSN EN ISO 15614-1 a ČSN EN ISO 15613.

## 6 Závěr

V této bakalářské práci jsem zpracoval studii konstrukčních uhlíkových ocelí. Důkladně jsem rozebral svařovací metodu 135 (MAG) a polohy při svařování. Práce se dále věnuje přídavným materiálům, byly rozebrány svarové kovy a různé typy přídavných plynů. Dále bylo rozebráno provedení stehových svarů dle normy ČSN EN 1011-2. Zaměřil jsem se také na nelegované uhlíkové konstrukční oceli.

Práce se zabývala kvalifikací 6 vzorků různých stehových svarů. Jednalo se o tři tupé svary a tři koutové svary. Tupé svarové stehy o různých tloušťkách byly svařeny metodou 135 (MAG). Koutové svary o různých tloušťkách byly svařeny metodami 135 (MAG), 138 a 111. Tyto metody byly zvoleny z důvodů, že se jedná o nejpoužívanější metody v praxi.

Po vytvoření vzorků stehových svarů následovala kontrola správnosti provedení stehového svaru. Jednalo se o kontrolu, zda svar neobsahuje trhliny, vměstky, studené spoje nebo póry. Provedli jsme dvě nedestruktivní zkoušky, vizuální zkoušku a penetrační zkoušku. Mimo nedestruktivní zkoušky jsme na vzorcích provedli dvě destruktivní zkoušky, zkoušku tvrdosti a zkoušku makrostruktury.

Vzorky byly nejprve podrobeny vizuální a penetrační zkoušce. V obou těchto zkouškách všechny vzorky vyhověly a nebyla nalezena žádná vada. Při zkoušce tvrdosti byly naměřeny hodnoty tvrdosti v rozmezí od 128 HV 10 do 353 HV 10. Tato hodnota 353 HV 10 byla naměřena u vzorku 4, který byl svařen metodou 111. Maximální přípustná hodnota tvrdosti je 380 HV 10, takže všechny naše vzorky v této zkoušce byly vyhodnoceny jako vyhovující. Ve zkoušce makrostruktury nebyla nalezena žádná vada ve svařovaných vzorcích. Všechny vzorky jsme vyhodnotili jako vyhovující.

V práci byla navržena metodika pro kvalifikaci jak tupých, tak koutových svarů. Tuto povinnost definuje norma pro provádění ocelových konstrukcí EN 1090-2. S ohledem na charakter svarů byly zvoleny kvalifikační normy EN ISO 15614-1 pro koutové svary a EN ISO 15613 pro tupé svary, protože se jedná o "nedokončený svar". Na základě všech vyhovujících výsledků je možné, aby inspekční organizace vystavila kvalifikované postupy svařování pro studované typy svarů, svařovací metody a tloušťky základního materiálu oceli jakosti S355J2.

## **7 Poděkování**

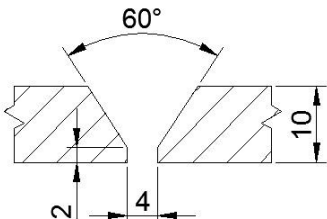
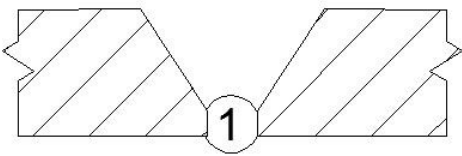
V tomto odstavci bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Sondelovi Ph.D. za kvalitní vedení, cenné rady, předané vědomosti a především za jeho čas, věnovaný konzultování mé bakalářské práce. Také bych rád poděkoval rodině za podporu během studií a při psaní bakalářské práce. Mimo jiné bych chtěl poděkovat všem lidem, kteří se na ní jakkoliv podíleli, byť sebemenší radou.

## 8 Seznam použitých zdrojů

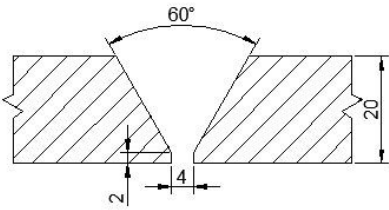
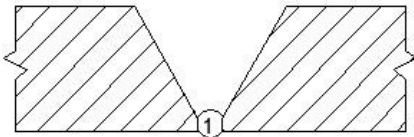
- [1] KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [2] ORSZÁGH, Peter a Viktor ORSZÁGH. *Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov*. 1. vydání. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000. ISBN 80-88780-36-5.
- [3] KOUKAL, Jaroslav a Tomáš ZMYDLENÝ. *Svařování I*. 1. vydání. Ostrava: VŠB - TU, 2005. ISBN 80-248-0870-6.
- [4] MINAŘÍK, Václav. *Obloukové svařování*. 2. aktualizované vydání. Praha: Scientia, 2003. ISBN 80-7183-285-5.
- [5] DOLEJSKÝ, Tomáš. *Základní kurz svařování MIG/MAG se souborem testových otázek*. 3. vydání. Ostrava: Zerros, 2014. ISBN 978-80-85771-05-3.
- [6] MALINA, Zdeněk. *Základní kurz svařování MIG/MAG*. 5. vydání. Ostrava: Zeross, 2000. ISBN 80-85771-76-4.
- [7] AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení*. 1. vydání. Ostrava: Zeross, 2001. ISBN 80-85771-81-0.
- [8] ČSN EN 1090-1+A1. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [9] ČSN EN 1011-2. *Svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2002. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.unmz.cz/vystaven.aspx?k=63898>
- [10] ČSN EN ISO 15613. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů*. Praha: Český normalizační institut, 2005. Dostupné z: [http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html\\_nahledy/05/73336/73336\\_nahled.htm](http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/05/73336/73336_nahled.htm)
- [11] ČSN EN ISO 15614-1. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2005. Dostupné z: [http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html\\_nahledy/05/73143/73143\\_nahled.htm](http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/05/73143/73143_nahled.htm)
- [12] ČSN EN 1090-2+A1. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2009. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.unmz.cz/vystaven.aspx?k=89680>
- [13] Spoje ocelových konstrukcí. [online]. [vid. 2014-11-13]. Dostupné z: <http://ocel.wz.cz/sortiment/svary.php>
- [14] ČSN EN 1043 – 1, *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkouška tvrdosti – Část 1: Zkouška tvrdosti spojů svařovaných obloukovým svařováním*, Praha: Český normalizační institut, leden 1998

## 9 Seznam příloh

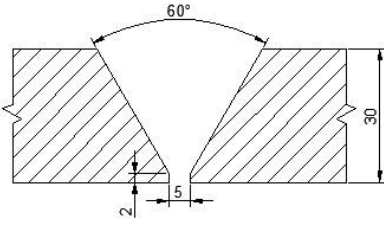
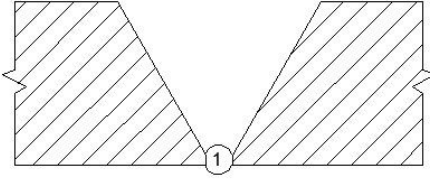
### 9.1 Příloha A

pWPS – předběžné stanovení postupu svařování ČSN EN ISO 15 609-1		č. pWPS	613S - 1	Vzorek	1
		Datum	14.4.2015	Murárik Radim	
Podrobnosti o Průběhu svařování					
Schéma spoje			Postup svařování		
					
Materiál dle ČSN EN 10 027-2			S355J2		
Druh svaru			tupý		
Tloušťka materiálu			10 mm		
Parametry svařování					
Housenka	Metoda svařování	-	Průměr (mm)	Proud (A)	
1	135	-	1,2	154,0 - 160,0	
Napětí (V)	Proud / polarita	Rychlost svařování mm/s	Rychlost podávání drátu	Tepelný příkon kJ/mm	
19,3 - 19,8	DC/+	2,4 - 2,5	-	0,71 - 1,02	
Tepelné zpracování					
Při svařování			Po svařování		
Teplota předehřevu	min. 20 °C	Rychlost ohřevu	-		
Interpass teplota	-	Teplota / čas výdrže	-		
Teplota / čas dohřevu	-	Rychlost ochlazování	-		
Další informace	-	Další informace	-		
Přídavný materiál	G3Si1	Plyn	Stargon C18		
		Skupina	M21		
Potvrzení					
Výrobce			Zkušební orgán		

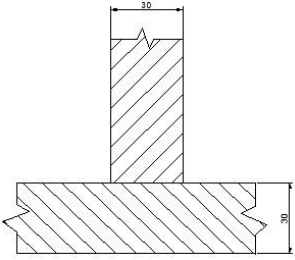
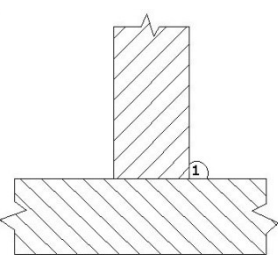
## 9.2 Příloha B

<b>pWPS – předběžné stanovení postupu svařování ČSN EN ISO 15 609-1</b>		č. pWPS	613S - 2	Vzorek	2
		Datum	14.4.2015	Murárik Radim	
<b>Podrobnosti o Průběhu svařování</b>					
Schéma spoje			Postup svařování		
					
Materiál dle ČSN EN 10 027-2			S355J2		
Druh svaru			tupý		
Tloušťka materiálu			20 mm		
<b>Parametry svařování</b>					
Housenka	Metoda svařování	-	Průměr (mm)	Proud (A)	
1	135	-	1,2	120,0 - 138,0	
Napětí (V)	Proud / polarita	Rychlost svařování mm/s	Rychlost podávání drátu	Tepelný příkon kJ/mm	
18,5 - 18,9	DC/+	1,9 - 2,1	-	0,80 - 1,27	
<b>Tepelné zpracování</b>					
Při svařování			Po svařování		
Teplota předehřevu	min. 20 °C	Rychlost ohřevu	-		
Interpass teplota	-	Teplota / čas výdrže	-		
Teplota / čas dohřevu	-	Rychlost ochlazování	-		
Další informace	-	Další informace	-		
Přídavný materiál	AristoRod 12.50	Plyn	Stargon C18		
		Skupina	M21		
<b>Potvrzení</b>					
Výrobce			Zkušební orgán		

### 9.3 Příloha C

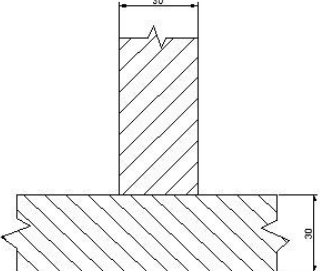
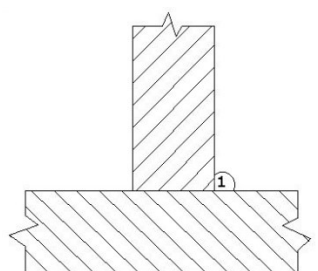
<b>pWPS – předběžné stanovení postupu svařování ČSN EN ISO 15 609-1</b>		č. pWPS	613S - 3	Vzorek	3
		Datum	14.4.2015	Murárik Radim	
<b>Podrobnosti o Průběhu svařování</b>					
Schéma spoje			Postup svařování		
					
Materiál dle ČSN EN 10 027-2			S355J2		
Druh svaru			tupý		
Tloušťka materiálu			30 mm		
<b>Parametry svařování</b>					
Housenka	Metoda svařování	-	Průměr (mm)	Proud (A)	
1	135	-	1,2	154,0 - 160,0	
Napětí (V)	Proud / polarita	Rychlost svařování mm/s	Rychlost podávání drátu	Tepelný příkon kJ/mm	
19,3 - 19,8	DC/+	1,5 - 2,1	-	0,85 - 1,59	
<b>Tepelné zpracování</b>					
Při svařování			Po svařování		
Teplota přehřevu	100 - 150 °C	Rychlost ohřevu	-		
Interpass teplota	-	Teplota / čas výdrže	-		
Teplota / čas dohřevu	-	Rychlost ochlazování	-		
Další informace	-	Další informace	-		
Přídavný materiál	AristoRod 12.50	Plyn	Stargon C18		
		Skupina	M21		
<b>Potvrzení</b>					
Výrobce			Zkušební orgán		

## 9.4 Příloha D

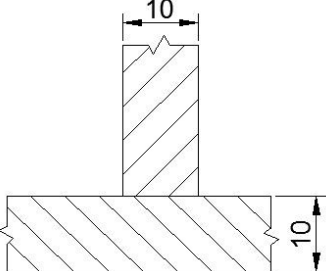
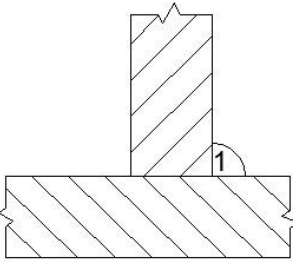
<b>pWPS – předběžné stanovení postupu svařování ČSN EN ISO 15 609-1</b>		č. pWPS	613S - 4	Vzorek	4
		Datum	14.4.2015	Murárik Radim	
<b>Podrobnosti o Průběhu svařování</b>					
Schéma spoje			Postup svařování		
					
Materiál dle ČSN EN 10 027-2			S355J2		
Druh svaru			koutový		
Tloušťka materiálu			30 mm		
<b>Parametry svařování</b>					
Housenka	Metoda svařování	-	Průměr (mm)	Proud (A)	
1	111	-	3,2	131,0 - 132,0	
Napětí (V)	Proud / polarita	Rychlost svařování mm/s	Rychlost podávání drátu	Tepelný příkon kJ/mm	
24,0 - 26,0	DC/+	1,8 - 2,0	-	0,92 - 1,32	
<b>Tepelné zpracování</b>					
Při svařování			Po svařování		
Teplota předehřevu	min. 150 °C	Rychlost ohřevu	-		
Interpass teplota	-	Teplota / čas výdrže	-		
Teplota / čas dohřevu	-	Rychlost ochlazování	-		
Další informace	-	Další informace	-		
Přídavný materiál	EVB 50	Plyn	-		
		Skupina	-		
<b>Potvrzení</b>					
Výrobce			Zkušební orgán		



## 9.5 Příloha E

<b>pWPS – předběžné stanovení postupu svařování ČSN EN ISO 15 609-1</b>		č. pWPS	613S - 5	Vzorek	5
		Datum	14.4.2015	Murárik Radim	
<b>Podrobnosti o Průběhu svařování</b>					
Schéma spoje			Postup svařování		
					
Materiál dle ČSN EN 10 027-2			S355J2		
Druh svaru			koutový		
Tloušťka materiálu			30 mm		
<b>Parametry svařování</b>					
Housenka	Metoda svařování	-	Průměr (mm)	Proud (A)	
1	135	-	1,0	235,0 - 240,0	
Napětí (V)	Proud / polarita	Rychlost svařování mm/s	Rychlost podávání drátu	Tepelný příkon kJ/mm	
30,0 - 31,0	DC/+	2,3 - 6,1	-	0,45 - 1,45	
<b>Tepelné zpracování</b>					
Při svařování			Po svařování		
Teplota předehřevu	min. 100 °C	Rychlost ohřevu	-		
Interpass teplota	-	Teplota / čas výdrže	-		
Teplota / čas dohřevu	-	Rychlost ochlazování	-		
Další informace	-	Další informace	-		
Přídavný materiál	Tysweld SG2	Plyn	Stargon C18		
		Skupina	M21		
<b>Potvrzení</b>					
Výrobce			Zkušební orgán		

## 9.6 Příloha F

<b>pWPS – předběžné stanovení postupu svařování</b> <b>ČSN EN ISO 15 609-1</b>		č. pWPS	613S - 6	Vzorek	6
		Datum	14.4.2015	Murárik Radim	
<b>Podrobnosti o Průběhu svařování</b>					
Schéma spoje			Postup svařování		
					
Materiál dle ČSN EN 10 027-2			S355J2		
Druh svaru			koutový		
Tloušťka materiálu			10 mm		
<b>Parametry svařování</b>					
Housenka	Metoda svařování	-	Průměr (mm)	Proud (A)	
1	138	-	1,2	240,0 - 245,0	
Napětí (V)	Proud / polarita	Rychlost svařování mm/s	Rychlost podávání drátu	Tepelný příkon kJ/mm	
23,5 - 24,0	DC/+	3,3 - 3,5	-	1,26 - 1,43	
<b>Tepelné zpracování</b>					
Při svařování			Po svařování		
Teplota předehřevu	min. 15 °C	Rychlost ohřevu	-		
Interpass teplota	-	Teplota / čas výdrže	-		
Teplota / čas dohřevu	-	Rychlost ochlazování	-		
Další informace	-	Další informace	-		
Přídavný materiál	Stein-Megafil 710M	Plyn	Stargon C18		
		Skupina	M21		
<b>Potvrzení</b>					
Výrobce			Zkušební orgán		